

**PERBANDINGAN PREDIKSI HASIL SEDIMEN MENGGUNAKAN PENDEKATAN MODEL
UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION DENGAN PENGUKURAN LANGSUNG**
(Comparison of sediment yield from prediction using Universal Soil Loss Equation with direct measurement)

Diah Auliyani¹ dan Wahyu Wisnu Wijaya¹

¹Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai
(BPPTPDAS)

Diterima: 7 Februari 2017; Selesai Direvisi: 6 April 2017; Disetujui: 7 April 2017

ABSTRACT

Low level of sedimentation is a success indicator of watershed management. Measurement of sedimentation can be conducted directly or through erosion prediction approach. This research aimed to compare sediment yield from prediction by USLE erosion approach using three types formulations of rainfall erosivity with direct measurement. The field data were collected during 2015 in Lowereng Sub Watershed, Sempor District of Kebumen Regency. The slope steepness was derived from ASTER Global Digital Elevation Model and land cover was obtained from World View 2012. Three methods for estimating rainfall erosivity were Utomo and Mahmud, Bols, and Lenvain equations. The USLE applied for every land unit. By considering Sediment Delivery Ratio (SDR), the predicted soil erosion from USLE was converted into sediment yield. The direct measurement of sediment yield was conducted by taking suspended sediment in the outlet of sub watershed. This research indicates that the predicted sediment yield calculated using USLE approach was higher than the direct measurement. The predicted sediment yield using Lenvain's equation was 3.49 ton/ha (196%), which was the closest to the direct measurement (1.18 ton/ha).

Key words: rainfall erosivity; sedimentation; USLE

ABSTRAK

Rendahnya tingkat sedimentasi sungai merupakan salah satu indikator keberhasilan pengelolaan daerah aliran sungai (DAS). Pengukuran sedimentasi dapat dilakukan secara langsung maupun melalui pendekatan prediksi erosi. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan prediksi sedimentasi melalui pendekatan erosi model USLE menggunakan tiga formulasi erosititas hujan dengan hasil pengukuran langsung di *outlet* DAS. Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2015 di Sub DAS Lowereng, Kecamatan Sempor Kabupaten Kebumen. Kemiringan lereng diperoleh berdasarkan analisis Citra Aster *Global Digital Elevation Model*, sedangkan penutupan lahan diperoleh dari *World View* tahun 2012. Tiga formulasi erosititas hujan yang digunakan adalah Utomo dan Mahmud, Bols, serta Lenvain. Prediksi USLE dilakukan pada setiap unit lahan yang ada. Dengan mempertimbangkan faktor *Sediment Delivery Ratio* (SDR), hasil prediksi erosi USLE dikonversi menjadi hasil sedimen.

Pengukuran hasil sedimen secara langsung dilakukan dengan pengambilan sedimen tersuspensi di *outlet* sub DAS. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa prediksi sedimentasi di Sub DAS Lowereng melalui pendekatan erosi USLE menghasilkan nilai yang lebih besar daripada hasil pengukuran langsung. Prediksi sedimentasi menggunakan formulasi Lenvain adalah 3,49 ton/ha (196%), merupakan nilai yang paling mendekati hasil pengukuran langsung (1,18 ton/ha).

Kata kunci: erosivitas hujan; sedimentasi; USLE

I. PENDAHULUAN

Erosi tanah oleh air hujan menjadi isu utama pengelolaan DAS dan pembangunan di Indonesia, sekaligus merupakan penciri terjadinya degradasi lahan dan penyebab menurunnya produktivitas lahan (Baja, Ramli, & Lias, 2009). Erosi membawa partikel tanah ke dalam air dalam bentuk sedimen dan menetap di daerah yang lebih rendah seperti sungai, danau, saluran irigasi, dan beberapa tempat lainnya (Setyawan, Lee, & Prawitasari, 2017). Semakin tinggi tingkat erosi yang terjadi di bagian hulu sungai maka jumlah sedimen di bagian hilir sungai akan semakin banyak. Penumpukan sedimen yang semakin besar dapat mengurangi kapasitas tampung sungai terhadap air hujan yang berintensitas tinggi, sehingga berpotensi menyebabkan banjir terutama di musim hujan (Ardiansyah, Lubis, & Hanum, 2013). Oleh karena itu, pengukuran terhadap nilai erosi dan sedimentasi sangat penting dilakukan sebagai indikator untuk mengevaluasi kegiatan pengelolaan DAS khususnya dari aspek lahan.

Hasil sedimen (*sediment yield*) adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi

yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu (Tatipata, Soekarno, Sabar, & Legowo, 2015). Pengukuran hasil sedimen di suatu DAS dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Pengukuran secara langsung dilakukan melalui kuantifikasi hasil sedimen yang keluar bersama aliran sungai melalui *outlet* DAS, sedangkan pengukuran tidak langsung dilakukan melalui pendekatan hasil prediksi erosi yang terjadi dengan mempertimbangkan nilai *Sediment Delivery Ratio* (SDR) dari DAS (Dirjen RLPS, 2009). Nisbah hantar sedimen (*Sediment Delivery Ratio/ SDR*) merupakan bilangan yang menunjukkan perbandingan antara nilai total hasil sedimen dengan nilai total erosi yang terjadi di daerah tangkapan airnya atau DAS/Sub DAS (Dirjen RLPS, 2009).

Universal Soil Loss Equation (USLE) adalah salah satu model empiris yang paling populer dan paling banyak digunakan dalam menentukan nilai erosi (Eisazadeh, Sokouti, Homae, & Pazira, 2012). Akurasi model ini sangat tergantung pada indeks panjang dan kemiringan lereng (LS), erosivitas curah hujan (R), erodibilitas tanah, manajemen tanaman penutup tanah dan teknik

konservasi (CP) yang dapat diturunkan dari berbagai model yang berbeda (Basuki & Wijaya, 2016).

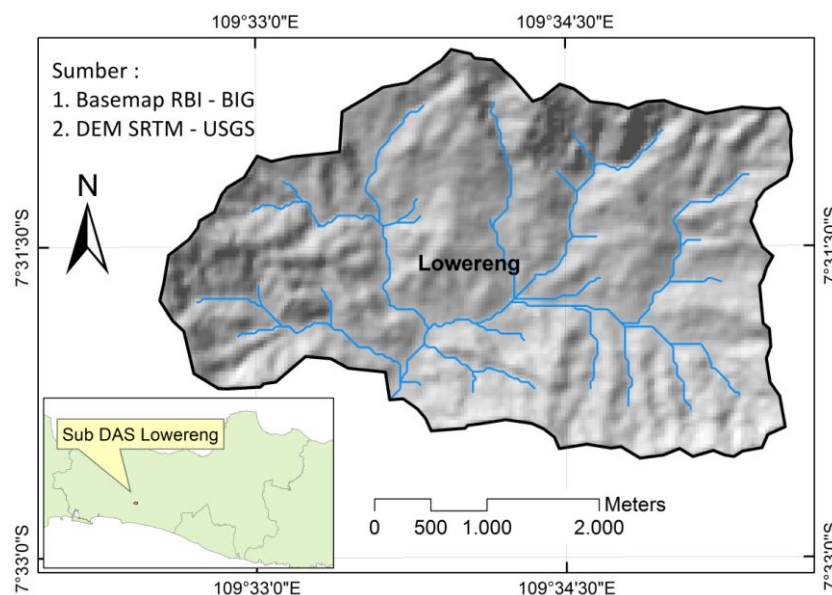
Erosivitas hujan menjadi faktor penting dalam pendugaan nilai erosi (Yin, Xie, Liu, & Nearing, 2015), terutama di negara tropis yang dicirikan dengan curah hujan tinggi (Lee & Heo, 2011). Erosivitas hujan di Indonesia dapat dihitung menggunakan persamaan dari Utomo, Utomo dan Mahmud, atau Bols (Basuki & Wijaya, 2016), serta Lenvain (Widiatmaka & Soeka, 2012). Meskipun banyak formulasi yang dapat digunakan dalam penghitungan erosivitas curah hujan, namun validasi di lapangan masih jarang dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan prediksi sedimentasi melalui pendekatan erosi model USLE menggunakan tiga formulasi erosivitas

hujan dengan hasil pengukuran langsung di lapangan.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilakukan di Sub DAS Lowereng. Lokasi penelitian terletak di 109°32'32"-109°35'33" BT dan 7°30'33"-7°32'31" LS yang secara administratif berada di Kecamatan Sempor Kabupaten Kebumen Provinsi Jawa Tengah. Pengambilan data lapangan dilakukan pada tahun 2015. Lokasi penelitian meliputi area seluas 1411,2 Ha. Peta lokasi penelitian disajikan dalam Gambar 1.



Gambar (Figure) 1. Peta Lokasi Penelitian (Map of the study area)

B. Bahan dan Alat

Perhitungan nilai erosi dilakukan dengan analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Diperlukan empat jenis peta sebagai dasar perhitungan erosi yang selanjutnya digunakan sebagai nilai untuk memprediksi besarnya sedimentasi, yaitu peta curah hujan, peta jenis tanah, peta

kemiringan lereng, dan peta penutupan lahan. Hubungan antara jenis peta dan

faktor-faktor yang digunakan dalam prediksi erosi disajikan dalam Tabel 1.

Tabel (Table) 1. Variabel yang digunakan dalam prediksi erosi (*Variables used in the soil erosion prediction*)

No (No)	Variabel (Variables)	Simbol (Symbols)	Jenis peta (Types of map)
1	Indeks erosivitas hujan (<i>Rainfall erosivity index</i>)	IE	Peta curah hujan (<i>Rainfall erosivity map</i>)
2	Indeks erodibilitas tanah (<i>Soil erodibility index</i>)	K	Peta jenis tanah (<i>Soil map</i>)
3	Indeks nilai panjang dan kemiringan lereng (<i>Slope length and steepness indexes</i>)	LS	Peta kelas lereng (<i>Slope classification map</i>)
4	Indeks penutupan vegetasi dan pengolahan lahan (<i>Cropping management and conservation practice indexes</i>)	CP	Peta penutupan lahan (<i>Land cover map</i>)

C. Metode Penelitian

Proses perhitungan nilai indeks dari setiap peta dilakukan dengan berbagai formulasi, yaitu:

1. Indeks erosivitas hujan (EI)

Erosivitas hujan merupakan kemampuan hujan yang dapat menyebabkan erosi, terutama oleh air (Yin *et al.*, 2015). Untuk mendapatkan nilai indeks erosivitas hujan dilakukan dengan membuat peta sebaran curah

hujan dari beberapa stasiun hujan. Peta curah hujan dibuat melalui interpolasi dengan SIG menggunakan metode *Inverse Distance Weight* (IDW). Pengukuran curah hujan dilakukan di empat stasiun curah hujan yaitu Silengkong, Kedung Laban, Somagede, dan Watubarut selama tahun 2015. Curah hujan bulanan di setiap stasiun disajikan dalam Tabel 2.

Tabel (Table) 1. Data curah hujan bulanan Tahun 2015 (*Monthly rainfall data in 2015*)

Bulan (Month)	Rata-rata curah hujan bulanan/ <i>The average monthly rainfall</i> (mm)			
	Silengkong	Kedung Laban	Somagede	Watubarut
Januari	27,5	11,8	11,9	13,3
Februari	19,5	10,8	7,8	9,4
Maret	28,6	47,1	8,0	26,9
April	21,7	18,5	19,4	15,4
Mei	8,0	5,8	6,7	3,9
Juni	12,9	6,0	9,7	1,4
Juli	0	0	0	0
Agustus	2,0	0	0	0
September	0	0	0	0
Oktober	0	0	0	0
November	24,7	32,9	36,9	14,5
Desember	24,4	45,5	37,5	16,2
Jumlah	169,2	178,4	138,0	101,0
Rata-rata	14,1	22,3	11,5	8,4

Indeks erosititas hujan diprediksi menggunakan 3 formulasi yang berbeda, yaitu Utomo dan Mahmud, Bols (Basuki & Wijaya, 2016), dan Lenvain (Widiatmaka & Soeka, 2012).

Formulasi Utomo dan Mahmud:

$$EI = 10,80 + (4,15 \times R) \quad (1)$$

Formulasi Lenvain:

$$EI = 2,21 \times R^{1,36} \quad (2)$$

Formulasi Bols:

$$EI = 6.119 \times R^{1,21} \times D^{-0,47} \times M^{0,53} \quad (3)$$

dimana:

El = erosititas hujan rata-rata tahunan (KJ/ha)

R = curah hujan rata-rata bulanan (cm)

D = jumlah hari hujan rata-rata bulanan (hari)

M = curah hujan maksimum rata-rata dalam 24 jam per bulan untuk kurun waktu satu tahun (cm)

2. Indeks erodibilitas tanah (K)

Indeks erodibilitas tanah menunjukkan tingkat kerentanan tanah terhadap erosi, yaitu retensi partikel terhadap pengikisan dan perpindahan tanah oleh energi kinetik air hujan. Dalam penelitian ini, nilai variabel K diperoleh dari data sekunder menggunakan jenis tanah (Dariah, Subagyo, Tafakresnanto, & Marwanto, 2004).

3. Indeks panjang dan kemiringan lereng (LS)

Faktor panjang dan kemiringan lereng (LS) terdiri dari dua komponen, yakni faktor panjang lereng dan faktor kemiringan lereng yang dapat ditentukan berdasarkan peta kemiringan lereng. Peta kemiringan lereng di lokasi penelitian diperoleh berdasarkan analisis citra ASTER *Global Digital Elevation Model* (GDEM) yang diklasifikasi menjadi lima kelas, yaitu <5%, >5-15%, >15-35%, >35-50%, dan >50%. Nilai panjang dan kemiringan lereng (LS) disajikan dalam Tabel 3.

Tabel (Table) 3. Nilai panjang dan kemiringan lereng (LS) (*Slope length and steepness value*)

No (No)	Kelas lereng (Slope)	Nilai LS (LS value)
1	<5%	0,25
2	>5-15%	1,20
3	>15-35%	4,25
4	>35-50%	9,50
5	>50%	12,00

Sumber : SK Dirjen BPDASPS No P.7/DAS-V/2011 (BPDASPS, 2011)

4. Indeks penutupan vegetasi dan pengolahan lahan (CP)

Faktor penutupan vegetasi dan pengolahan lahan menggambarkan dampak kegiatan pertanian dan pengelolaannya terhadap tingkat erosi (Wischmeier & Smith, 1978). Nilai CP dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan Model erosi USLE di Pulau Jawa (Ministry of Public Work, 2012) sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.

Tabel (Table) 2. Nilai faktor penutupan vegetasi dan pengolahan lahan (CP) (*Cropping management and conservation practice value*)

No (No)	Penutupan Lahan (Land cover)	Kelas Lereng/ Nilai CP (<i>Slope/ CP value</i>)			
		0-2%	2-15%	15-40%	>40%
1	Pemukiman (<i>Settlement area</i>)	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500
2	Sawah (<i>Irrigated agriculture</i>)	0,0100	0,0100	0,0100	0,0250
3	Tegalan (<i>Non-irrigated agriculture</i>)	0,0445	0,0625	0,0955	0,1365
4	Perkebunan (<i>Estate and plantation</i>)	0,0045	0,0104	0,0199	0,0338
5	Kebun campur (<i>Mixed gardens</i>)	0,0223	0,0313	0,0478	0,0683
6	Hutan alam (<i>Natural forest</i>)	0,0002	0,0005	0,0010	0,0010
7	Hutan produksi (<i>Production forest</i>)	0,0010	0,0010	0,0020	0,0020
8	Semak belukar (<i>Shrub</i>)	0,0010	0,0015	0,0020	0,0020
9	Padang rumput (<i>Grassland</i>)	0,0050	0,0100	0,0200	0,0200
10	Lahan terbuka (<i>Open area</i>)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

Sumber : Model erosi USLE di Pulau Jawa (Ministry of Public Work, 2012)

5. Erosi Tanah

Laju erosi tanah diprediksi menggunakan rumus USLE (Wischmeier & Smith, 1978). Formulasi USLE adalah sebagai berikut:

$$A = E \times K \times L \times S \times C \times P \quad (4)$$

dimana:

A = Laju erosi tanah (ton/ha/tahun)

EI = Indeks erosivitas curah hujan

K = Indeks erodibilitas tanah

L = Indeks panjang lereng

S = Indeks kemiringan lereng

C = Indeks penutupan vegetasi

P = Indeks pengolahan lahan atau tindakan konservasi tanah

6. Prediksi Hasil Sedimen

Perkiraan besarnya erosi tanah yang terjadi di DAS dapat digunakan untuk memprediksi hasil sedimen, yaitu dengan cara mengalikannya dengan SDR. Besarnya nilai SDR sangat bervariasi (Arekhi, Shabani, & Rostamizad, 2012). Dalam penelitian ini, nilai SDR ditentukan dengan grafik hubungan luas DAS dan nilai SDR seperti disajikan dalam Tabel 5 (Dirjen RLPS, 2009).

Tabel (Table) 5. Hubungan luas DAS dengan *sediment delivery ratio* (SDR) (*Relationship between watershed area and SDR*)

Luas DAS (Watershed area) (ha)	SDR (%)
10	53
50	39
100	35
500	27
1.000	24
5.000	15
10.000	13
20.000	11
50.000	0,85
2.600.000	0,49

Sumber : Perdirjen RLPS No P.04/V-SET/2009 (Dirjen RLPS, 2009)

7. Perbandingan prediksi hasil sedimen dengan pengukuran langsung

Nilai prediksi sedimentasi dihitung menggunakan pendekatan erosi USLE dari 3 formulasi erosivitas hujan yang berbeda, selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran secara langsung di lapangan. Pengukuran secara langsung dilakukan dengan pengambilan sampel air di *outlet* sub DAS kemudian dianalisis di laboratorium untuk mengetahui kandungan sedimennya. Sampel yang diambil dilakukan pada beberapa tinggi

muka air yang berbeda untuk keperluan pembuatan *Suspended Rating Curve*. Besarnya kadar muatan sedimen dalam aliran air dinyatakan dalam besaran laju sedimentasi. Muatan sedimen (MS) dihitung dengan pengukuran langsung menggunakan persamaan:

$$Q_s = k \times C \times Q \quad (5)$$

dimana:

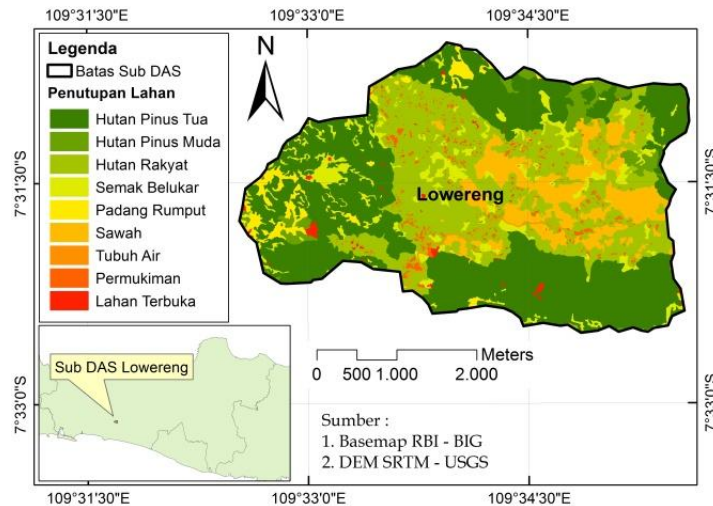
- Q_s = debit sedimen (ton/hari)
- k = 0,0864
- C = kadar muatan sedimen (mg/l)
- Q = debit air sungai (m^3/s)

Q_s dalam ton/hari dapat dijadikan dalam ton/ha/tahun dengan membagi nilai Q_s dengan luas DAS dan mengalikan dengan jumlah hari dalam satu tahun. Nilai Q_s dalam ton/ha/tahun

dikonversikan menjadi Q_s dalam mm/tahun yaitu dengan mengalikan nilai Q_s tersebut dengan berat jenis (BJ) tanah sehingga akan diperoleh nilai tebal endapan sedimen.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

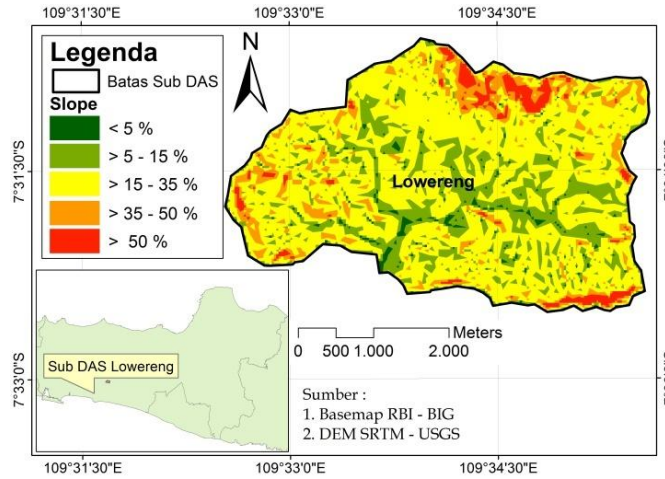
Berdasarkan analisis Citra World View tahun 2012 yang dilengkapi pengecekan lapangan tahun 2015 menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah penelitian merupakan daerah berhutan (77%), sedangkan sisanya adalah sawah, semak belukar, padang rumput dan pemukiman. Peta penutupan lahan di lokasi penelitian disajikan dalam Gambar 2.



Gambar (Figure) 2. Peta penutupan (Land cover map)

Berdasarkan analisis Citra Aster GDEM, lokasi penelitian merupakan daerah dengan tingkat kemiringan lereng yang bervariasi antara datar hingga sangat curam. Sebagian besar Sub DAS Lowereng merupakan daerah dengan tingkat

kemiringan >5-15% (21,2%) dan >15-35% (62,1%). Distribusi kelas lereng di lokasi penelitian disajikan dalam Gambar 3.



Gambar (Figure) 3. Peta kemiringan lereng (*Slope steepness map*)

Tabel (Table) 6. Penghitungan hasil sedimen di Sub DAS Lowereng Tahun 2015 (*Sediment yield calculation in Lowereng Sub Watershed in 2015*)

Bulan (Month)	Hasil sedimen di Sub DAS Lowereng (ton/ha) (<i>Sediment yield in Lowereng Sub Watershed</i>)			
	Pengukuran langsung (<i>Direct measurement</i>)	Formulasi Utomo&Mahmud (<i>Utomo&Mahmud equation</i>)	Formulasi Bols (<i>Bols equation</i>)	Formulasi Lenvain (<i>Lenvain equation</i>)
Januari	0,15	1,29	0,61	0,31
Februari	0,12	1,17	0,44	0,21
Maret	0,27	1,71	2,10	0,74
April	0,31	1,39	0,86	0,38
Mei	0,03	1,00	0,17	0,09
Juni	0,03	1,07	0,41	0,14
Juli	0,00	0,00	0,00	0,00
Agustus	0,00	0,24	0,01	0,01
September	0,00	0,00	0,00	0,00
Oktober	0,00	0,00	0,00	0,00
November	0,07	1,74	2,18	0,70
Desember	0,20	1,92	2,92	0,92
Jumlah (Total)	1,18	11,54	9,70	3,49
Standar deviasi (%)	-	879	723	196

Prediksi sedimen menggunakan pendekatan erosi USLE dengan mempertimbangkan nilai SDR di Sub DAS Lowereng selama tahun 2015 menghasilkan nilai yang lebih besar (*overestimate*) daripada hasil pengukuran secara langsung di lapangan (Tabel 6). Nilai yang *overestimate* ini dikarenakan penentuan SDR hanya memperhitungkan

faktor luas DAS. Semakin banyak variabel yang digunakan dalam penentuan SDR akan meningkatkan akurasi prediksi yang dihasilkan (Auerwald, 1992). SDR tidak hanya dipengaruhi oleh luas DAS tapi juga faktor-faktor lain, diantaranya kondisi hidrologi, geomorfologi, sifat sedimen (Vigiak, Borselli, Newham, McInnes, & Roberts, 2012), iklim, dan tutupan lahan

(Diodato & Grauso, 2009). Nilai SDR yang hanya mempertimbangkan luas DAS akan lebih besar dibandingkan dengan penentuan SDR dengan pendugaan laju erosi menggunakan USLE dan hasil pengukuran muatan sedimen (Tunas, 2008).

Berdasarkan pengukuran langsung, jumlah sedimen terbesar terjadi pada Bulan April, yaitu 0,31 ton/ha. Nilai tersebut berbeda dengan prediksi sedimentasi menggunakan tiga formulasi erosivitas hujan yang menghasilkan nilai terbesar pada Bulan Desember. Pada pengukuran langsung, besarnya jumlah sedimen yang dihitung tidak bergantung pada curah hujan melainkan pada debit sungainya. Tidak semua curah hujan yang masuk ke dalam DAS diperhitungkan menjadi aliran permukaan. Dengan curah hujan yang sama, aliran permukaan akan lebih besar pada akhir musim hujan daripada awal musim hujan, karena kondisi tanah sudah jenuh air, sehingga erosi yang terjadi juga akan lebih besar (Harjadi, 2004). Sementara pada perhitungan sedimentasi menggunakan pendekatan USLE, erosi yang terjadi berbanding lurus dengan curah hujan. Semakin tinggi curah hujan maka potensi erosi yang terjadi juga akan semakin besar.

Curah hujan yang paling tinggi di bulan Desember menyebabkan nilai erosivitas curah hujannya pun menjadi paling besar. Apabila faktor yang lainnya sama, maka curah hujan sangat mempengaruhi besarnya prediksi erosi yang terjadi dan tingginya sedimentasi dalam pengukuran menggunakan pendekatan USLE.

Prediksi hasil sedimen menggunakan formulasi erosivitas hujan Lenvain menghasilkan nilai yang paling mendekati hasil pengukuran langsung, yaitu dengan penyimpangan 196%. Hasil yang sama juga diperoleh dalam penelitian di Sub DAS Merawu Kabupaten Banjarnegara dengan kondisi penutupan hutan pinus dan semak belukar sebesar 33% (Sulistyo, 2011). Dalam penelitian tersebut, penggunaan formulasi Lenvain menghasilkan korelasi yang sedikit lebih tinggi ($r=0,94$) daripada formulasi Bols ($r=0,89$) (Sulistyo, 2011). Formulasi Lenvain juga efektif digunakan untuk prediksi erosi pada lahan kering palawija di Banjarnegara (Harjadi, 2004). Sebaliknya, prediksi erosi di Sub DAS Keduang (pertanian lahan kering 87%, sisanya kawasan permukiman dan hutan jati) dengan formulasi erosivitas hujan Utomo dan Mahmud menghasilkan nilai yang paling mendekati hasil pengukuran langsung (7,5% lebih tinggi) (Basuki & Wijaya, 2016).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa prediksi hasil sedimen di Sub DAS Lowereng melalui pendekatan erosi USLE menghasilkan nilai yang lebih besar daripada hasil pengukuran langsung. Prediksi sedimentasi menggunakan formulasi erosivitas hujan Lenvain adalah 3,49 ton/ha (196%), merupakan nilai yang paling mendekati hasil pengukuran langsung (1,18 ton/ha). Dari penelitian ini dapat dilakukan penelitian sejenis pada Sub DAS dengan persentase luas hutan yang berbeda dengan menggunakan nilai

SDR yang tidak hanya mempertimbangkan luas DAS tetapi juga faktor lain seperti geomorfologi, tutupan lahan dan sifat sedimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada manajemen dan tim penelitian kantor Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS (BPPTPDAS) Surakarta atas kesempatan dan kerjasama yang telah diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, T., Lubis, K. S., & Hanum, H. (2013). Kajian Tingkat Bahaya Erosi di Beberapa Penggunaan Lahan di Kawasan Hilir DAS Padang. *Jurnal Online Agroekoteknologi ISSN*, 2, 436–446.
- Arekhi, S., Shabani, A., & Rostamizad, G. (2012). Application of the modified universal soil loss equation (MUSLE) in prediction of sediment yield (Case study: Kengir Watershed, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 5(6), 1259–1267. <https://doi.org/10.1007/s12517-010-0271-6>
- Auerswald, K. (1992). Predicted and Measured Sediment Loads of Large Watersheds in Bavaria. In *5th International Symposium on River Sedimentation*. Karlsruhe.
- Baja, S., Ramli, M., & Lias, S. A. (2009). Spatial-based assessment of land use, soil erosion, and water protection in the Jeneberang valley, Indonesia. *Biologia*, 64(3), 522–526. <https://doi.org/10.2478/s11756-009-0074-y>
- Basuki, T. M., & Wijaya, W. W. (2016). Comparison of Soil Loss from Prediction Using Universal Soil Loss Equation with Direct Measurement from Sediment Yield in Keduang Sub-Watershed. In *Proceedings of International Conference Of Indonesia Forestry Researchers III-2015* (pp. 318–328).
- BPDASPS. (2011). *Surat Keputusan BPDASPS Nomor P.7/DAS-V/2011 Tentang Petunjuk Teknis Sistem Standar Iperasi Prosedur (SSOP) Penanggulangan Banjir dan Tanah Longsor*. Jakarta: Sekretariat Ditjen.
- Dariah, A., Subagyo, H., Tafakresnanto, C., & Marwanto, S. (2004). Kepekaan Tanah Terhadap Erosi. In U. Kurnia, A. Rachman, & A. Dariah (Eds.), *Teknologi Konservasi Tanah Pada Lahan Kering Berlereng* (pp. 7–30). Bogor: Puslitbang Tanah dan Agroklimat.
- Diodato, N., & Grauso, S. (2009). An improved correlation model for sediment delivery ratio assessment. *Environmental Earth Sciences*, 59(1), 223–231. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0020-x>
- Dirjen RLPS. (2009). *Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan Dan Perhutanan Sosial Nomor: P.04/V-SET/2009 Tanggal: 05 Maret 2009 Tentang Pedoman Monitoring Dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai*. Jakarta: Sekretariat Direktur Jenderal.
- Eisazadeh, L., Sokouti, R., Homae, M., & Pazira, E. (2012). Comparison of empirical models to estimate soil erosion and sediment yield in micro catchments. *Eurasian Journal of Soil Science*, 1, 28–33. Retrieved from http://fesss.org/eurasian_journal_of_soil_science.asp

- Harjadi, B. (2004). Penetapan Rumus Prediksi Erosi Sebagai Pendekatan Nilai Erosi Aktual Pada Lahan Kering Palawija di Banjarnegara. *Sains Tanah*, 4(1), 1–5.
- Lee, J. H., & Heo, J. H. (2011). Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. *Journal of Hydrology*, 409(1–2), 30–48. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.07.031>
- Ministry of Public Work. (2012). Java Erosion Model-USLE 30m: Application of the Universal Soil Loss Equation. *Institutional Strengthening for Integrated Water Resources Management (IWRM) in the 6 CI's River Basin Territory*.
- Setyawan, C., Lee, C. Y., & Prawitasari, M. (2017). Application Of GIS Software For Erosion Control In The Watershed Scale. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 6(1), 57–61.
- Sulistyo, B. (2011). Pengaruh Erosivitas Hujan yang Diperoleh Dari Rumus yang Berbeda Terhadap Pemodelan Erosi Berbasis Aster (Studi Kasus di DAS Merawu, Banjarnegara, Jawa Tengah). *Agritech*, 31(3), 250–259.
- Tatipata, W. H., Soekarno, I., Sabar, A., & Legowo, S. (2015). Analisis Volume Sedimen yang Mengendap Setelah T-Tahun Waduk Beroperasi (Studi Kasus: Waduk Cirata). *Jurnal Teknik Sipil*, 22(3), 235–242.
- Tunas, I. G. (2008). Pengaruh prosedur perkiraan laju erosi terhadap konsistensi nisbah pengangkutan sedimen. *Jurnal Smartek*, 6(3), 135-143.
- Vigiak, O., Borselli, L., Newham, L. T. H., McInnes, J., & Roberts, A. M. (2012). Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio. *Geomorphology*, 138(1), 74–88. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.08.026>
- Widiatmaka, & Soeka, B. D. G. (2012). Distribusi Spasial Besaran Erosi Untuk Perencanaan Penggunaan Lahan Lestari: Studi Kasus Unit Pemukiman Transmigrasi (UPT) Rantau Pandan SP-1 , Provinsi Jambi. *Globe*, 14(1), 60–69.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. USDA Agriculture Handbook No. 537.
- Yin, S., Xie, Y., Liu, B., & Nearing, M. A. (2015). Rainfall erosivity estimation based on rainfall data collected over a range of temporal resolutions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(10), 4113–4126. <https://doi.org/10.5194/hess-19-4113-2015>